

(54) [Title of the Invention] Electromagnetic
Field Intensity Calculating Apparatus

(57) [Abstract]

[Object] The present invention relates to an
5 electromagnetic field intensity calculating apparatus
calculating an electromagnetic field intensity that an
electric circuit device radiates based on a moment method,
and aims at enabling an electromagnetic field intensity
to be quickly calculated while implementing high
10 accuracy.

[Constitution] The electromagnetic field intensity
calculating apparatus is configured to convert a metal
plane pattern existing on a printed board possessed by
an electric circuit device into a line pattern the
15 characteristic impedance of which is nearly equal, to
convert a dielectric existing on the printed board into
a condenser having an equivalent capacity, to delete
a dielectric far from a current path among dielectrics
existing on the printed board, and to partition the
20 printed board in a shape along the flow of a current
when meshing the printed board.

[What is claimed is]

[claim 1] An electromagnetic field intensity
calculating apparatus calculating an electromagnetic
25 field intensity that an electric circuit device radiates

THIS PAGE BLANK (USPTO)

based on a moment method, wherein

simultaneous equations of a moment method are derived by converting a metal plane pattern existing on a printed board possessed by the electric circuit device into a line pattern.

[claim 2] The electromagnetic field intensity calculating apparatus according to claim 1, wherein the metal plane pattern is converted into a line pattern a characteristic impedance of which is nearly equal.

[claim 3] An electromagnetic field intensity calculating apparatus calculating an electromagnetic field intensity that an electric circuit device radiates based on a moment method, wherein

simultaneous equations of a moment method are derived by converting a dielectric existing on a printed board possessed by the electric circuit device into a condenser having an equivalent capacity.

[claim 4] The electromagnetic field intensity calculating apparatus according to claim 3, wherein a dielectric is converted into a condenser whose capacity per unit length is represented by " $\Delta C = C_0(\epsilon_{\text{eff}} - 1)$ ",

THIS PAGE BLANK (USPTO)

if a capacity per unit length in a vacuum, which is possessed by a metal pattern enclosing a dielectric, and an effective dielectric constant are respectively represented by C_0 and ϵ_{eff} .

5

[claim 5] The electromagnetic field intensity calculating apparatus according to claim 3 or 4, wherein

simultaneous equations of a moment method are derived by partitioning a region connecting between a converted condenser and a grand layer into a shape almost according to a form of current input/output to/from a connecting point, when the grand layer existing on the printed board possessed by the electric circuit device is partitioned into meshes.

15

[claim 6] An electromagnetic field intensity calculating apparatus calculating an electromagnetic field intensity that an electric circuit device radiates based on a moment method, wherein

simultaneous equations of a moment method are derived by partitioning a region connecting to a metal pattern into a shape almost according to a form of current input/output to/from a connecting point, when a grand layer existing on a printed board possessed by the electric circuit device is partitioned into meshes.

25

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[claim 7] An electromagnetic field intensity calculating apparatus calculating an electromagnetic field intensity that an electric circuit device radiates
5 based on a moment method, wherein

simultaneous equations of a moment method are derived by partitioning a region opposed to a metal pattern so that a partitioned region has a shape parallel to the metal pattern, and a width of the shape of the
10 partitioned region becomes larger as apart from the metal pattern, when a grand layer existing on a printed board possessed by the electric circuit device is partitioned into meshes.

15 [claim 8] The electromagnetic field intensity calculating apparatus according to claim 7, wherein
a partitioned width of the grand layer is expanded geometrically as apart from the metal pattern.

20 [claim 9] An electromagnetic field intensity calculating apparatus calculating an electromagnetic field intensity that an electric circuit device radiates based on a moment method, wherein

simultaneous equations of a moment method are
25 derived by regarding as being inexistent a dielectric

THIS PAGE BLANK (USPTO)

in a region that is apart from a metal pattern enclosing dielectrics by a predetermined distance or longer among the dielectrics existing on a printed board possessed by the electric circuit device.

THIS PAGE BLANK (USPTO)



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07302258 A**(43) Date of publication of application: **14.11.95**

(51) Int. Cl.

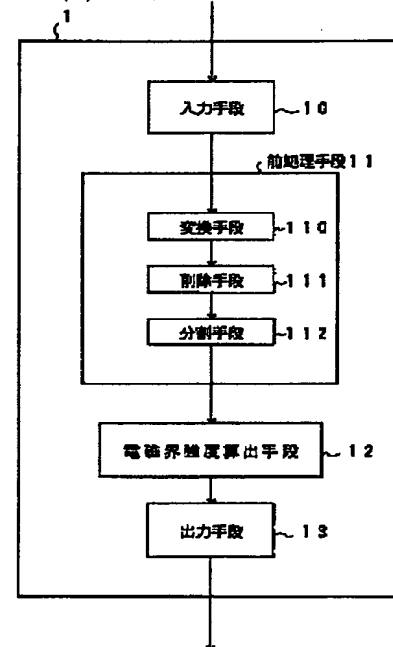
G06F 17/00
G01R 29/08
(21) Application number: **06095363**(22) Date of filing: **10.05.94**(71) Applicant: **FUJITSU LTD**
(72) Inventor: **NAGASE KENJI**
MUKAI MAKOTO
OTSU SHINICHI
NISHINO KANJI
**(54) ELECTROMAGNETIC FIELD INTENSITY
 CALCULATION DEVICE**
(57) Abstract:

PURPOSE: To calculate electromagnetic field intensity at a high speed while realizing high accuracy by calculating the electromagnetic field intensity radiated by the electrical circuit device of an analysis object based on a moment method.

CONSTITUTION: An electromagnetic field intensity calculation means 12 uses calculated mutual coefficients (mutual impedance, mutual admittance and mutual reaction) among elements, leads out the simultaneous equations of the moment method for which a current flowing in metal is defined as an unknown number when only the metal is the analysis object and leads out the simultaneous equations of the moment method for which the current flowing in the metal and an equivalent current and an equivalent magnetic current flowing on the surface of a dielectric are defined as the unknown numbers when the metal and the dielectric are dissolution objects. Then, by solving the lead-out simultaneous equations of the moment method, the electromagnetic field intensity calculation means 12 calculates the electromagnetic field intensity radiated by the electrical circuit device from the calculated

value. Thus, while realizing the high accuracy, the electromagnetic field intensity radiated by an electrical circuit is highly accurately calculated.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO



THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-302258

(43) 公開日 平成7年(1995)11月14日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 6 F 17/00

G 0 1 R 29/08

D

8724-5L

G 0 6 F 15/ 20

D

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平6-95363

(22) 出願日 平成6年(1994)5月10日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72) 発明者 長瀬 健二

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72) 発明者 向井 誠

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72) 発明者 大津 信一

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 岡田 光由 (外1名)

最終頁に続く

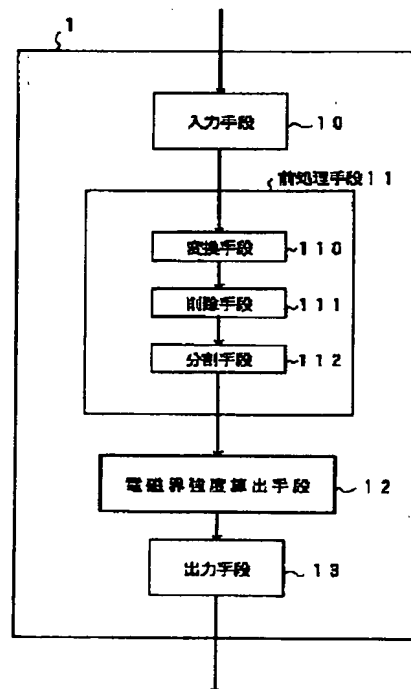
(54) 【発明の名称】 電磁界強度算出装置

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置に関し、高精度を実現しつつ高速に電磁界強度を算出できるようにすることを目的とする。

【構成】 電気回路装置の持つプリント板に存在する金属の面パターンを特性インピーダンスが概略等しい線パターンに変換したり、プリント板に存在する誘電体を等価な容量を持つコンデンサに変換したり、プリント板に存在する誘電体の内の電流路から遠いものを削除したり、プリント板をメッシュ化していくときに電流の流れに沿う形状で分割していくように構成する。

本発明の原理構成図



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置において、

電気回路装置の持つプリント板に存在する金属の面パターンを、線パターンに変換していくことで、モーメント法の連立方程式を導出していくよう構成されることを、特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項2】 請求項1記載の電磁界強度算出装置において、

金属の面パターンを、特性インピーダンスが概略等しくなる線パターンに変換していくよう構成されることを、特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項3】 モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置において、

電気回路装置の持つプリント板に存在する誘電体を、等価な容量を持つコンデンサに変換していくことで、モーメント法の連立方程式を導出していくよう構成されることを、特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項4】 請求項3記載の電磁界強度算出装置において、

誘電体を挟む金属パターンが持つ真空中の単位長さ当たりの容量を C_0 、実効誘電率を ϵ_{eff} で表すならば、誘電体を、単位長さ当たりの容量が「 $\Delta C = C_0(\epsilon_{eff} - 1)$ 」で表されるコンデンサに変換していくよう構成されることを、

特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項5】 請求項3又は4記載の電磁界強度算出装置において、

電気回路装置の持つプリント板に存在するグラウンド層をメッシュに分割するときにあつて、変換したコンデンサとグラウンド層との接続領域については、接続点との間の電流の入出流形態に概略従う形状で分割していくことで、モーメント法の連立方程式を導出していくよう構成されることを、

特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項6】 モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置において、

電気回路装置の持つプリント板に存在するグラウンド層をメッシュに分割するときにあつて、金属パターンとの接続領域については、接続点との間の電流の入出流形態に概略従う形状で分割していくことで、モーメント法の連立方程式を導出していくよう構成されることを、特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項7】 モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置において、

2

電気回路装置の持つプリント板に存在するグラウンド層をメッシュに分割するときにあつて、金属パターンと対向する領域については、該金属パターンと平行形状を有して、その形状幅が該金属パターンから離れるに従って大きなものとなるように分割していくことで、モーメント法の連立方程式を導出していくよう構成されることを、

特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項8】 請求項7記載の電磁界強度算出装置において、

金属パターンから離れるに従って、グラウンド層の分割幅が等比的に拡大されるよう構成されることを、特徴とする電磁界強度算出装置。

【請求項9】 モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置において、

電気回路装置の持つプリント板に存在する誘電体の内、該誘電体を挟む金属パターンから規定以上離れる領域のものについては、存在しないものとみなしていくことで、モーメント法の連立方程式を導出していくよう構成されることを、特徴とする電磁界強度算出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出装置に関し、特に、高精度を実現しつつ高速に電磁界強度を算出できるようにする電磁界強度算出装置に関する。

【0002】 電気回路装置から不要放射される電波は、テレビやラジオ等の他の電波と干渉することから、最近、各国で厳しく規制されるようになってきた。このような規制の規格として、日本ではVCCI規格があり、米国ではFCC規格があり、ドイツではVDE規格がある。

【0003】 このような電波規制を満足させるためには、シールド技術やフィルタ技術等のような種々の対策技術を使う必要があり、これらの対策技術がどの程度電波を減少させるかを定量的にシミュレートしていく必要がある。これから、高い精度でもって電気回路装置の放射する電磁界強度をシミュレートできるようにする電磁界強度算出装置の構築が叫ばれている。

【0004】

【従来の技術】 任意形状の物体から放射される電磁界強度は、物体各部に流れる電流が分かれば、公知の理論式を用いて容易に計算することができる。この電流値は、理論的には、マックスウェルの電磁波動方程式を与えられた境界条件の下で解くことで得られるものであるが、任意形状物体を対象とした複雑な境界条件の下での直接的な数式解は現在知られていない。

【0005】従って、現在の電磁界強度算出装置で用いられている電流を求める解法は、難易の程度はあるにせよ、すべて近似的なものである。現在、この近似的な解法として、微小ループアンテナ近似法と、分布定数線路近似法と、モーメント法という3種類のものが知られている。

【0006】微小ループアンテナ近似法は、波源回路と負荷回路との間を接続する配線をループアンテナとして扱い、ループ上の電流は平坦なものと仮定して、これを集中定数回路の計算手法で求める方法である。図14に、この微小ループアンテナ近似法の構成を図示する。

【0007】この微小ループアンテナ近似法による計算は、最も簡単であるが、ループの寸法が電磁波の波長に比べて無視できない条件では精度が極めて低下することから、現実には殆ど用いられていない。

【0008】一方、分布定数線路近似法は、1次元の構造物として近似できる物体に対して、分布定数線路の方程式を適用することで電流を求める方法である。計算は比較的簡単であり、計算時間及び記憶容量も解析要素数にほぼ比例して増加するに止まり、線路の反射や共振等の現象も含めた解析ができることから、1次元の近似が成立する物体については、高速・高精度の解析ができる。図15に、この分布定数線路近似法の構成を図示する。

【0009】この分布定数線路近似法による計算は、1次元の構造物として近似できる物体については、高速・高精度の解析ができるものの、近似できない物体については解析できないという問題点がある。

【0010】一方、モーメント法は、マックスウェルの電磁波動方程式から導かれる積分方程式の解法の1つであり、3次元の任意形状物体を扱うことができる。具体的には、物体を小さな要素に分割して電流の計算を行うものである。

【0011】このように、モーメント法が3次元の任意形状物体を扱えることから、電磁界強度算出装置では、モーメント法を使って、電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するという構成が有力である。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の電磁界強度算出装置では、モーメント法を適用すべく電気回路装置をメッシュ化していくときに、規定の縦横比(アスペクト化)を持つようにと各部分をそのまま単純に矩形に分割していくという方法を採用している。すなわち、電気回路装置の持つプリント板についても、電流の向きを考慮することなく、図16に示すように、規定の縦横比を持つようにと各部分をそのまま一律に矩形に分割していく方法を採用しているのである。

【0013】そして、従来の電磁界強度算出装置では、電気回路装置の持つプリント板に存在する誘電体について、そのままメッシュ化する構成を採用して、その表面

に流れる等価電流及び等価磁流を未知数とするモーメント法の連立方程式を導出して、それを解いていくという方法を採用している。

【0014】これから、従来の電磁界強度算出装置では、メッシュの数が多くなることで、モーメント法の連立方程式を解くのに時間がかかるとともに、メモリ消費量も大きいという問題点があった。

【0015】本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する構成を採るときにあって、高精度を実現しつつ高速に電磁界強度を算出できるようにする新たな電磁界強度算出装置の提供を目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】図1に本発明の原理構成を図示する。図中、1は本発明により構成される電磁界強度算出装置であって、モーメント法に基づいて解析対象となる電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する。

【0017】この電磁界強度算出装置1は、解析対象となる電気回路装置の構造体を入力する入力手段10と、入力された電気回路装置の持つプリント板の構造体を変更したり、入力された電気回路装置の構造体をメッシュに分割する処理を行う前処理手段11と、モーメント法に基づいて解析対象となる電気回路装置の放射する電磁界強度を算出する電磁界強度算出手段12と、算出された電磁界強度を出力する出力手段13とを備える。

【0018】前処理手段11は、変換手段110や、削除手段111や、分割手段112を備える。この変換手段110は、必要に応じて、電気回路装置の持つプリント板に存在する金属の面パターンを線パターンに変換したり、プリント板に存在する誘電体を等価な容量を持つコンデンサに変換したりする。

【0019】削除手段111は、必要に応じて、電気回路装置の持つプリント板に存在する誘電体の内、特定のものについては存在しないものとみなす処理を行う。分割手段112は、入力された電気回路装置の構造体を規定のアルゴリズムに従ってメッシュに分割する。

【0020】

【作用】本発明では、入力手段10により解析対象となる電気回路装置の構造体が入力されると、前処理手段11の変換手段110は、電気回路装置の持つプリント板に存在する金属の面パターンを、特性インピーダンスが概略等しくなる線パターンに変換したり、プリント板に存在する誘電体を、その誘電体を挟む金属パターンが持つ真空中の単位長さ当たりの容量を C_0 、実効誘電率を ϵ_{eff} で表すならば、単位長さ当たりの容量が「 $\Delta C = C_0(\epsilon_{eff} - 1)$ 」で表される等価な容量のコンデンサに変換していく。

【0021】この変換手段110による変換処理に従って、電気回路装置の持つプリント板の構造が等価な構造

を持ちつつ簡略なものに変換されることになる。一方、前処理手段11の削除手段111は、電気回路装置の持つプリント板に存在する誘電体の内、その誘電体を挟む金属パターンから規定以上離れる領域のものについては、その表面にほとんど等価電流及び等価磁流が流れないことから存在しないものとみなしていく。

【0022】この削除手段111による削除処理に従って、電気回路装置の持つプリント板の構造が実質同一のまま簡略なものに変換されることになる。一方、前処理手段11の分割手段112は、メッシュに分割していくときにあって、電気回路装置の持つプリント板に存在するグラウンド層の内の金属パターンとの接続領域については、接続点との間の電流の入出流形態にほぼ従う形状で分割する。また、プリント板に存在するグラウンド層の内の金属パターンと対向する領域については、その金属パターンと平行形状を有して、その形状幅がその金属パターンから離れるに従って大きなものとなるようにと分割する。また、誘電体がコンデンサに変換されるときにあって、プリント板に存在するグラウンド層の内の変換コンデンサとの接続領域については、接続点との間の電流の入出流形態にほぼ従う形状で分割する。

【0023】この分割手段112による分割処理に従って、同一精度を維持しつつ、従来よりも大きなサイズのメッシュに分割していくことが可能になる。前処理手段11の処理が終了すると、電磁界強度算出手段12は、先ず最初に、金属のみを解析対象とする場合には、要素間の相互係数として、要素間の相互インピーダンスを算出し、金属と誘電体とを解析対象とする場合には、要素間の相互係数として、要素間の相互インピーダンス、相互アドミッタンス、相互リアクションを算出する。

【0024】続いて、電磁界強度算出手段12は、算出した相互係数を用いて、金属のみを解析対象とする場合には、金属に流れる電流を未知数とするモーメント法の連立方程式を導出し、金属と誘電体とを解析対象とする場合には、金属に流れる電流と、誘電体の表面に流れる等価電流、等価磁流とを未知数とするモーメント法の連立方程式を導出する。

【0025】続いて、電磁界強度算出手段12は、導出したモーメント法の連立方程式を解くことで、金属のみを解析対象とする場合には、金属に流れる電流を算出し、金属と誘電体とを解析対象とする場合には、金属に流れる電流と、誘電体の表面に流れる等価電流、等価磁流とを算出して、この算出値から電気回路装置の放射する電磁界強度を計算する。

【0026】そして、この計算結果を受けて、出力手段13は、計算された電磁界強度を例えば図式化して出力する。このように、本発明では、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するときにあつて、電気回路装置の持つプリント板を等価な簡略構造に変換したり、実質同一の簡略構造に変換したり、電

流の流れを考慮しつつメッシュ化することで、同一精度を維持しつつメッシュの数を大幅に減らすことができるようになることから、高精度を実現しつつ高速に電磁界強度を算出できるようになる。

【0027】

【実施例】以下、実施例に従って本発明を詳細に説明する。図1でも説明したように、本発明では、解析対象となる電気回路装置の持つプリント板を、等価な簡略構造に変換したり、実質同一の簡略構造に変換したり、電流の流れを考慮しつつメッシュ化する構成を採るものである。

【0028】図2に、この処理を実行するプリント板モデル生成機構20の一実施例を図示する。この実施例のプリント板モデル生成機構20は、プリント板のCADデータを受け取る入力処理部21と、プリント板に存在する金属伝送路パターンのパターンモデルを生成するパターンモデル生成部22と、プリント板に存在する誘電体の誘電体モデルを生成する誘電体モデル生成部23と、プリント板に存在するグラウンド層のグラウンド層モデルを生成するグラウンド層モデル生成部24と、モーメント法の計算機構に渡すデータを編集するデータ編集処理部25と、端末30の発行する選択指示をパターンモデル生成部22、誘電体モデル生成部23、グラウンド層モデル生成部24に通知する選択指示部26とから構成されている。

【0029】図3に、パターンモデル生成部22の実行する処理フローの一実施例、図4に、誘電体モデル生成部23の実行する処理フローの一実施例、図5に、グラウンド層モデル生成部24の実行する処理フローの一実施例を図示する。次に、これらの処理フローに従って、本発明を詳細に説明する。

【0030】パターンモデル生成部22は、図3の処理フローに示すように、先ず最初に、ステップ1で、入力処理部21から周波数、パターン座標、パターン要素種類等のプリント板情報を受け取り、周波数を抽出して波長 λ を算出する。続いて、ステップ2で、受け取ったプリント板の持つ金属伝送路パターンを、例えば最も長いものでも波長 λ の $1/10$ 以下になるようにと分割することで、金属伝送路パターンをメッシュ化する。

【0031】続いて、ステップ3で、選択指示部26からの金属伝送路パターン要素の選択指示が面要素指示であるのか線要素指示であるのかを判断して、面要素指示であることを判断するとき、すなわち、メッシュ化した面要素の金属伝送路パターンをそのまま使うという選択指示であることを判断するときには、ステップ4に進んで、パターン幅、パターン座標を抽出し、続くステップ5で、この抽出したパターン幅、パターン座標を使って面要素の金属伝送路パターンを生成して処理を終了する。

【0032】一方、ステップ3で、選択指示部26から

の金属伝送路パターン要素の選択指示が線要素指示であることを判断するとき、すなわち、メッシュ化した面要素の金属伝送路パターンを線要素に変換して使うという選択指示であることを判断するときには、ステップ6に進んで、面要素の金属伝送路パターンを特性インピーダンスが概略等しくなる線要素の金属伝送路パターンに変換して、パターン幅、パターン座標を抽出し、続くステップ7で、パターンの中点座標を計算し、続くステップ8で、この抽出したパターン幅、パターン座標、中点座

$$Z_{ow} = 60 \ln \frac{h + (h^2 - r^2)^{1/2}}{r}$$

【0035】で表され、図6(b)に示すような面形状の金属伝送路パターンの持つ特性インピーダンスが、誘電体がない場合(真空中)には、

【0036】

【数2】

$$Z_{os} = 60 \ln \left(\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right)$$

【0037】で表されて、この2つの式の値が「 $r \approx w/4$ 」のときに等しくなることから、面要素の金属伝送路パターンの面幅値を4で割った値を計算し、その面要素の金属伝送路パターンをこの算出値を半径に持つ線要素の金属伝送路パターンに変換していくことを行うことになる。

【0038】このようにして、パターンモデル生成部22は、要求に応じて、面要素の金属伝送路パターンを線要素に変換しつつ、金属伝送路パターンをメッシュ化していくよう処理するのである。

【0039】パターンモデル生成部22が処理を終了すると、誘電体モデル生成部23は、図4の処理フローに示すように、先ず最初に、ステップ1で、選択指示部26からの指示が誘電体考慮を指示するものであるのか否かを判断して、誘電体を考慮しない指示であることを判断するときには、誘電体は存在しないものとみなしてそのまま処理を終了する。すなわち、誘電体の表面に流れる等価電流及び等価磁流を無視してモーメント法の実行に入るべく準備するのである。

【0040】一方、誘電体考慮の指示であることを判断するときには、ステップ2に進んで、選択指示部26からの指示が代用指示であるのか非代用指示であるのかを判断して、非代用指示であることを判断するとき、すなわち、誘電体をコンデンサで代用しない指示であることを判断するときには、ステップ3に進んで、そのまま誘電体をメッシュ化して誘電体要素の設定処理を行う。このとき、選択指示部26から誘電体の一部削除の指示があるときには、図7に示すように、金属伝送路パターンから規定以上離れる領域の誘電体については、その表面にほとんど等価電流及び等価磁流が流れないことから存

*標を使って線要素の金属伝送路パターンを生成して処理を終了する。

【0033】このステップ6で実行する変換処理について具体的に説明するならば、図6(a)に示すような線形状の金属伝送路パターンの持つ特性インピーダンスが、誘電体がない場合(真空中)には、

【0034】

【数1】

$$Z_{ow} = 60 \ln \frac{h + (h^2 - r^2)^{1/2}}{r}$$

在しないものとみなしていく処理を行う。

【0041】一方、ステップ2での指示が代用指示であることを判断するとき、すなわち、誘電体をコンデンサで代用する指示であることを判断するときには、ステップ4に進んで、コンデンサの挿入位置座標を計算する。誘電体から変換するコンデンサは、例えば金属伝送路パターン要素の中心に挿入される構成が採られるので、この挿入位置座標を計算するのである。なお、このコンデンサの挿入位置は、金属伝送路パターン要素の中心に限られるものではなくて、両端や任意の位置に設定することが可能である。

【0042】続いて、ステップ5で、作成するコンデンサを接続するための要素を生成する。コンデンサは、金属伝送路パターン要素の挿入位置からグラウンド層に垂直に下ろす線の中央部に配置する構成を採るので、このための接続要素を生成するのである。続いて、ステップ6で、金属伝送路パターン要素のパターン幅 w と、グラウンド層からの高さ h と、誘電体の誘電率 ϵ_r とを抽出する。

【0043】続いて、ステップ7で、ステップ6で抽出したパターン幅 w 、高さ h 、誘電率 ϵ_r を使って、誘電体に代えて挿入するコンデンサの容量 ΔC (単位長さ当たりの容量)を計算し、続くステップ8で、この算出した容量 ΔC と金属伝送路パターン要素長との掛け算値で表される容量を持つコンデンサを、誘電体に代えて挿入して処理を終了する。

【0044】このステップ7で実行する容量 ΔC の算出処理について具体的に説明するならば、誘電体がない場合(真空中)の伝送路の単位長さ当たりの容量を C 、単位長さ当たりのインダクタンスを L で表すならば、特性インピーダンスは、

$$Z_o = (L_o / C_o)^{1/2}$$

で表されるが、誘電体が存在する場合には、線路容量が増加するので、特性インピーダンスは、

$$Z_o' = [L_o / (C_o + \Delta C)]^{1/2}$$

で表される。

【0045】一方、この特性インピーダンス Z_o' は、実効誘電率 ϵ_{eff} を用いると、

$$Z_o' = (\epsilon_{eff})^{-1/2} (L_o / C_o)^{1/2}$$

と表される。従って、この2つの特性インピーダンス Z_o' の式から

$$\epsilon_{eff} C_o = C_o + \Delta C$$

すなわち、

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10 * h}{w}\right)^{-1/2}$$

【0047】で求められるものである。この容量 ΔC を持つコンデンサが、誘電体と等価なものとなる。例えば、半径が r 、グラウンド層からの高さが h の線状の金属伝送路パターンの真空中での容量 C_o は、真空の誘電率を $\epsilon_o (= 8.854185 \times 10^{-12} \text{ F/m})$ とすると、

【0048】

【数4】

$$C_o = \frac{2\pi\epsilon_o}{\ln \frac{h + (h^2 - r^2)^{1/2}}{r}}$$

【0049】と表されるので、その金属伝送路パターンとグラウンド層との間に存在する誘電体は、この容量 C_o を、

$$\Delta C = C_o (\epsilon_{eff} - 1)$$

に代入することで求まる容量 ΔC を持つコンデンサと等価なものとなるのである。

【0050】このようにして、誘電体モデル生成部23は、要求に応じて、誘電体を等価な容量を持つコンデンサに変換していくよう処理するのである。これから、誘電体モデル生成部23の処理に従って誘電体がコンデンサに変換され、大幅にメッシュ数を減らせることになる。

【0051】誘電体モデル生成部23が処理を終了すると、グラウンド層モデル生成部24は、図5の処理フローに示すように、まず最初に、ステップ1で、選択指示部26からの指示が等比分割を指示するものであるのか否かを判断して、等比分割指示でないことを判断するときには、ステップ2に進んで、金属伝送路パターンとの接続領域以外の領域を、従来技術のように規定の縦横比の矩形に分割していくことでメッシュ化する。

【0052】続いて、ステップ3で、電流の流入、流出部分である金属伝送路パターンとの接続領域を抽出し、続くステップ4で、この抽出した領域を接続点から放射状に分割していくことでメッシュ化する。すなわち、金属伝送路パターンとの接続領域については、電流の流れに沿う形でメッシュ化していくのである。このようなメッシュ化構成を採ることで、メッシュ数を大幅に削減できるようになる。

【0053】一方、ステップ1での指示が等比分割指示であることを判断するときには、ステップ5に進んで、対となる金属伝送路パターンのパターン幅を抽出し、続

$$* \Delta C = C_o (\epsilon_{eff} - 1)$$

が求められる。ここで、実効誘電率 ϵ_{eff} は、よく知られているように、

【0046】

【数3】

くステップ6で、その金属伝送路パターンのパターン座標を抽出する。続いて、ステップ7で、金属伝送路パターンとの接続領域以外の領域の要素幅（金属伝送路パターンと直交する方向の要素幅）を計算する。この要素幅は、金属伝送路パターンから離れるに従って大きくなるようにと算出され、例えば、等比的に増大する形態に従って算出されることになる。

【0054】続いて、ステップ8で、電流の流入、流出部分である金属伝送路パターンとの接続領域を抽出し、続くステップ9で、この抽出した接続領域以外の領域については、対となる金属伝送路パターンと平行形状を有して、ステップ7で計算した要素幅を持つようにと分割してメッシュ化するとともに、この抽出した接続領域については、接続点から放射状に分割してメッシュ化する。すなわち、金属伝送路パターンとの接続領域以外の領域についても電流の流れに沿う形でメッシュ化していくとともに、金属伝送路パターンから離れる領域については、流れる電流が小さく影響度も小さいことから、大きなメッシュとなるようにと分割していくのである。このようなメッシュ化構成を採ることで、メッシュ数を大幅に削減できるようになる。

【0055】このようにして、グラウンド層モデル生成部24は、グラウンド層の内の金属伝送路パターンとの接続領域については放射状に分割してメッシュ化していくとともに、それ以外の領域については、要求に応じて、金属伝送路パターンと平行形状を有して、金属伝送路パターンから離れるに従って大きな要素幅を持つように分割してメッシュ化していくよう処理するのである。

【0056】なお、グラウンド層モデル生成部24は、誘電体モデル生成部23の処理に従って、金属伝送路パターンとグラウンド層との間にコンデンサが挿入される場合には、電流の流れに沿う形でメッシュ化すべく、そのコンデンサとの接続点が三角形の頂点になるようにとグラウンド層をメッシュ化していくよう処理することもある。

【0057】図8及び図9に、このような処理を実行するプリント板モデル生成機構20の実行処理の具体例を図示する。図8(a)に示す具体例は、誘電体の存在を無視して、面形状の金属伝送路パターンをそのまま分割し、グラウンド層の内の金属伝送路パターンとの接続領域については放射状に分割し、それ以外の領域については、金属伝送路パターンと平行形状を有して、金属伝送路パターンから離れるに従って大きな要素幅を持つよう

に分割した例である。

【0058】図8(b)に示す具体例は、面形状の金属伝送路パターンをそのまま分割し、金属伝送路パターンとグランド層との間の誘電体をコンデンサに変換した例である。

【0059】図9(a)に示す具体例は、面形状の金属伝送路パターンを線形状に変換して分割し、あるいは、本来の線形状の金属伝送路パターンをそのまま分割し、金属伝送路パターンとグランド層との間の誘電体をコンデンサに変換し、グランド層の内の金属伝送路パターンとの接続領域については放射状に分割し、それ以外の領域については、変換したコンデンサとの接続点が三角形の頂点になるように分割した例である。

【0060】図9(b)に示す具体例は、面形状の金属伝送路パターンをそのまま分割し、金属伝送路パターンとグランド層との間の誘電体をコンデンサに変換し、グランド層の内の金属伝送路パターンとの接続領域については放射状に分割し、それ以外の領域については、変換したコンデンサとの接続点で区画しつつ、金属伝送路パターンと平行形状を有して、金属伝送路パターンから離れるに従って大きな要素幅を持つように分割した例である。

【0061】このようにして、プリント板モデル生成機構20の実行処理に従ってプリント板のモーメント法モデルが生成されると、電磁界強度算出装置1は、解析対象となる電気回路装置が持つプリント板以外のケーブルや金属筐体等の金属構造物をメッシュ化して、この金属構造物のメッシュモデルと、プリント板モデル生成機構20の生成したプリント板モデルとからモーメント法の連立方程式を導出し、それを解くことで金属に流れる電流と、誘電体の表面に流れる等価電流及び等価磁流を求めて、これを使って、電気回路装置の放射する電磁界強度を算出していくよう処理する。

【0062】すなわち、電磁界強度算出装置1は、先ず最初に、分割した金属同士の相互インピーダンス Z°_{cc} と、分割した金属と誘電体との相互インピーダンス Z°_{ca} 、 Z°_{ac} と、分割した誘電体同士の相互インピーダンス Z°_{aa} 、 Z^d_{aa} と、分割した誘電体同士の相互アドミタンス Y°_{aa} 、 Y^d_{aa} と、分割した金属と誘電体との相互リアクション B°_{ca} 、 B°_{ac} と、分割した誘電体同士の相互リアクション B°_{aa} 、 B^d_{aa} とを算出する。

【0063】ここで、肩付き文字“0”は空気中での計算値を表し、肩付き文字“d”は誘電体中での計算値を表し、添え字“c”は金属を表し、添え字“d”は誘電体を表し、添え字“cc”は、金属から金属への相互関係を表し、添え字“dd”は、誘電体から誘電体への相互関係を表し、添え字“cd”は、誘電体から金属への相互関係を表し、添え字“dc”は、金属から誘電体への相互関係を表している。

【0064】続いて、この算出した相互インピーダン

ス、相互アドミタンス、相互リアクションと、プリント板の持つ波源 V と、分割した金属に流れる電流 I_c と、分割した誘電体の表面に流れる等価電流 I_a と、分割した誘電体の表面に流れる等価磁流 M とを使い、金属の表面電界値がゼロを示すという境界条件から導かれるモーメント法の連立方程式

$$[Z^{\circ}_{cc}] [I_c] + [Z^{\circ}_{ca}] [I_a] + [B^{\circ}_{ca}] [M] = [V]$$

と、誘電体の境界面の両側で電界の接線成分が等しいという境界条件から導かれるモーメント法の連立方程式

$$[Z^{\circ}_{ac}] [I_c] + [Z^{\circ}_{aa} + Z^d_{aa}] [I_a] + [B^{\circ}_{aa} + B^d_{aa}] [M] = [0]$$

と、誘電体の境界面の両側で磁界の接線成分が等しいという境界条件から導かれるモーメント法の連立方程式

$$[B^{\circ}_{ac}] [I_c] + [B^{\circ}_{aa} + B^d_{aa}] [I_a] + [-Y^{\circ}_{aa} - Y^d_{aa}] [M] = [0]$$

とを導出する。

【0065】そして、このモーメント法の連立方程式を解くことで、金属に流れる電流 I_c と、分割した誘電体の表面に流れる等価電流 I_a と、分割した誘電体の表面に流れる等価磁流 M とを求めて、これらの値から、電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するのである。

【0066】最後に、本発明の有効性を確認するために行ったシミュレーション結果について説明する。このシミュレーションでは、図10に示す構造のプリント板を想定し、このプリント板が、図11に示すソース、ロードの回路(周波数:500MHz)を持つことを想定して、従来技術に従って図12(a)に示すようなプリント板モデルを生成するとともに、本発明に従って図12(b)に示すようなプリント板モデルを生成して、この2つのプリント板モデルの放射する電磁界強度をミュレートして、それを実測値と比較することで行った。

【0067】図13に、このシミュレーションで生成した電磁界放射パターンを図示する。観測点との距離は10m、観測点の高さ位置は1mである。図中の黒丸、白丸が実測値、破線が、従来技術に従う図12(a)に示すプリント板モデルからシミュレートされた電磁界強度、実線が、本発明に従う図12(b)に示すプリント板モデルからシミュレートされた電磁界強度である。

【0068】このシミュレーションから、本発明を用いることで、電気回路装置の放射する電磁界強度を正確に、しかも、3倍以上の高速な計算時間でもって算出できることが確認された。

【0069】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、モーメント法に基づいて電気回路装置の放射する電磁界強度を算出するときにあつて、電気回路装置の持つプリント板を等価な簡略構造に変換したり、実質同一の簡略構造に変換したり、電流の流れを考慮しつつメッシュ化することで、同一精度を維持しつつメッシュの数を大幅

に減らすことができるようになることから、高精度を実現しつつ高速に電磁界強度を算出できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の原理構成図である。

【図 2】 プリント板モデル生成機構の一実施例である。

【図 3】 パターンモデル生成部の実行する処理フローである。

【図 4】 誘電体モデル生成部の実行する処理フローである。

【図 5】 グランド層モデル生成部の実行する処理フローである。

【図 6】 金属伝送路パターンの説明図である。

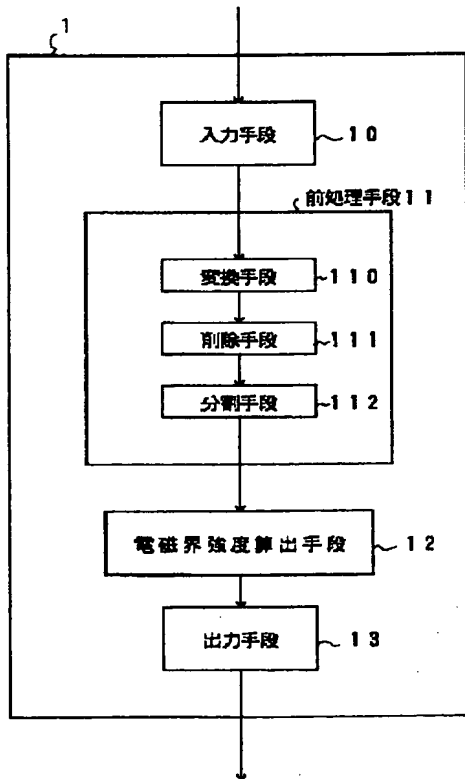
【図 7】 誘電体一部削除処理の説明図である。

【図 8】 プリント板モデル生成機構の実行処理の説明図である。

【図 9】 プリント板モデル生成機構の実行処理の説明図である。

【図 1】

本発明の原理構成図



【図 10】 シミュレーションの説明図である。

【図 11】 シミュレーションの説明図である。

【図 12】 シミュレーションの説明図である。

【図 13】 シミュレーションの説明図である。

【図 14】 微小ループアンテナ近似法の説明図である。

【図 15】 分布定数線路近似法の説明図である。

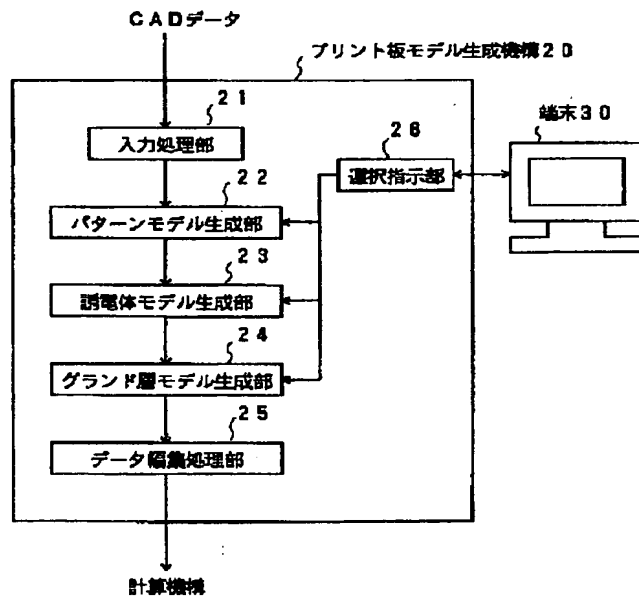
【図 16】 従来技術の説明図である。

【符号の説明】

- | | |
|-----|-----------|
| 1 | 電磁界強度算出装置 |
| 10 | 入力手段 |
| 11 | 前処理手段 |
| 12 | 電磁界強度算出手段 |
| 13 | 出力手段 |
| 110 | 変換手段 |
| 111 | 削除手段 |
| 112 | 分割手段 |

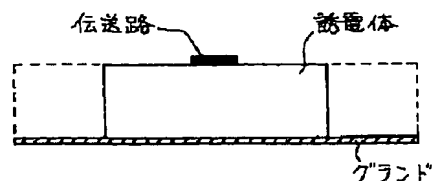
【図 2】

プリント板モデル生成機構の一実施例



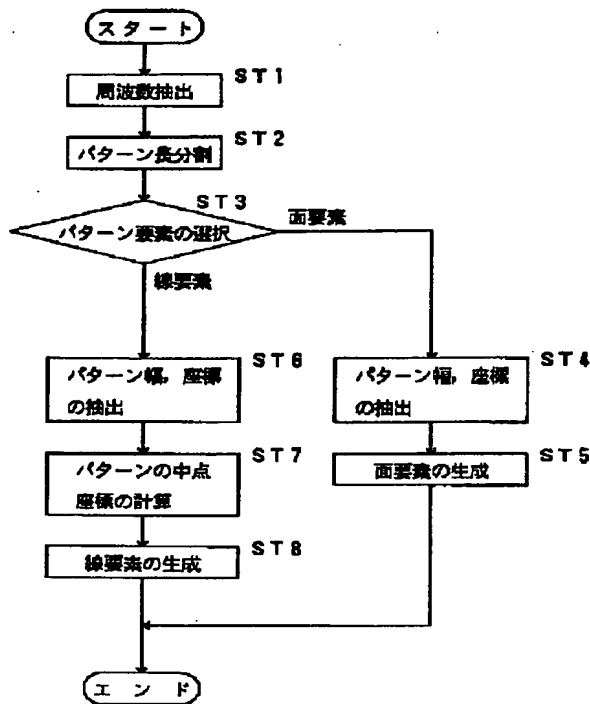
【図 7】

誘電体一部削除処理の説明図



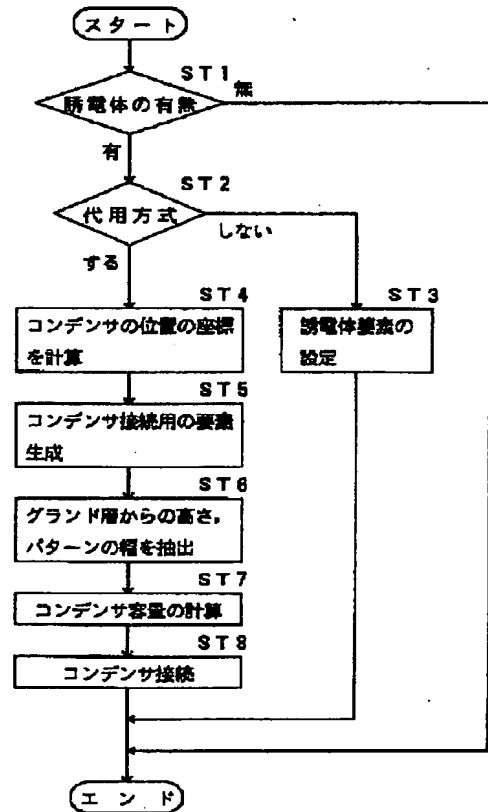
【図3】

パターンモデル生成部の実行する処理フロー



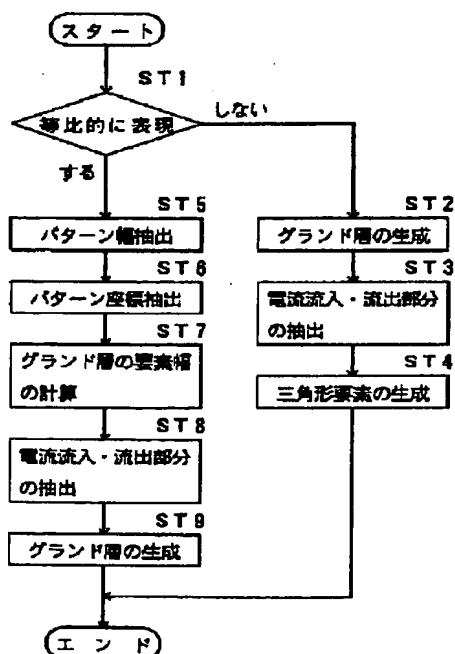
【図4】

誘電体モデル生成部の実行する処理フロー



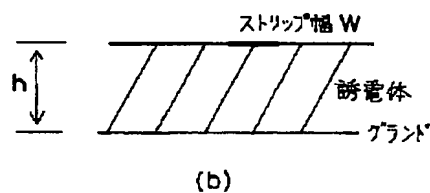
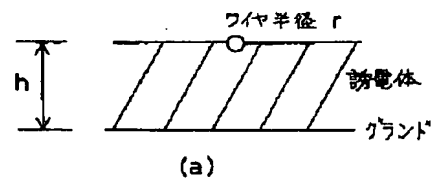
【図5】

グラウンド層モデル生成部の実行する処理フロー



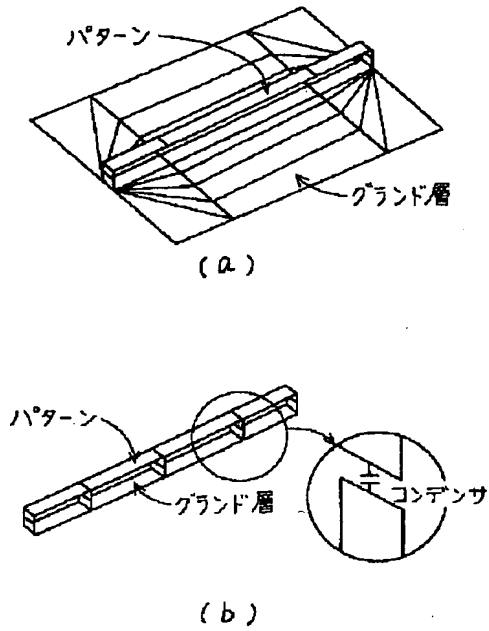
【図6】

金属伝送路パターンの説明図



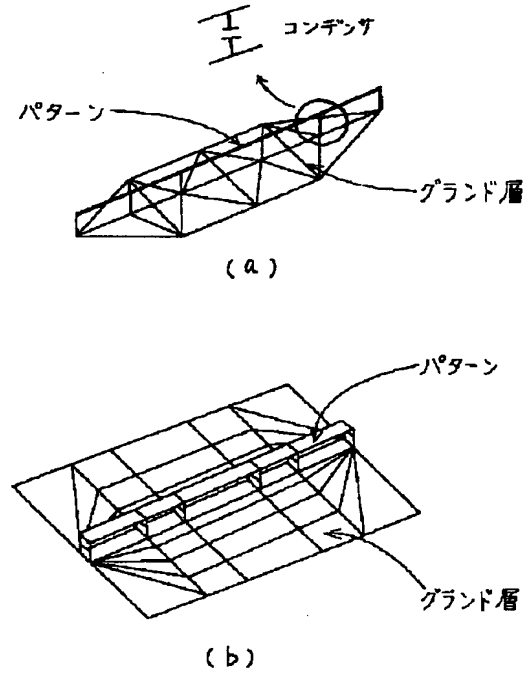
【図8】

プリント板モデル生成機構の実行処理の説明図



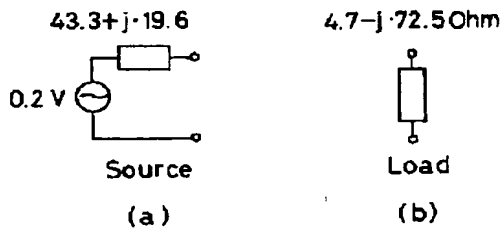
【図9】

プリント板モデル生成機構の実行処理の説明図



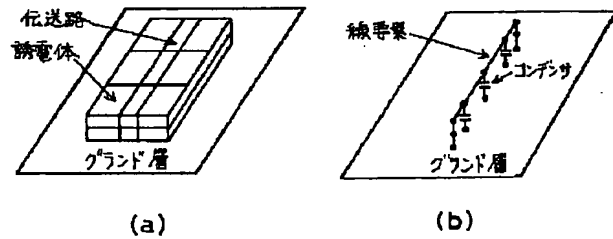
【図11】

シミュレーションの説明図



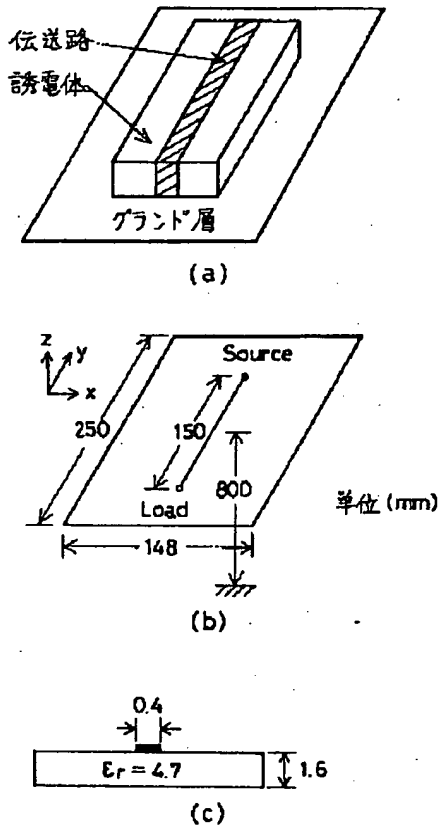
【図12】

シミュレーションの説明図



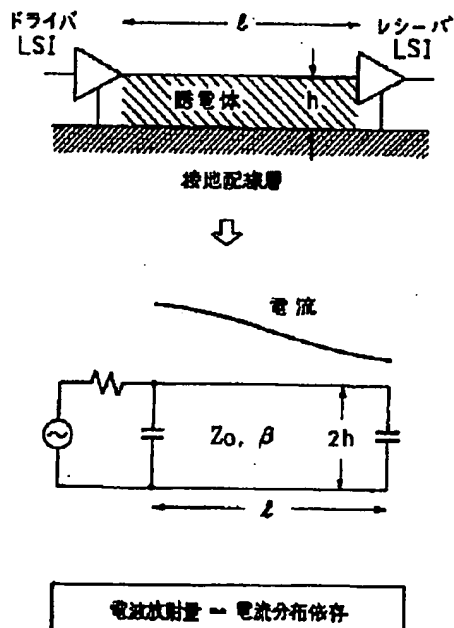
【図10】

シミュレーションの説明図



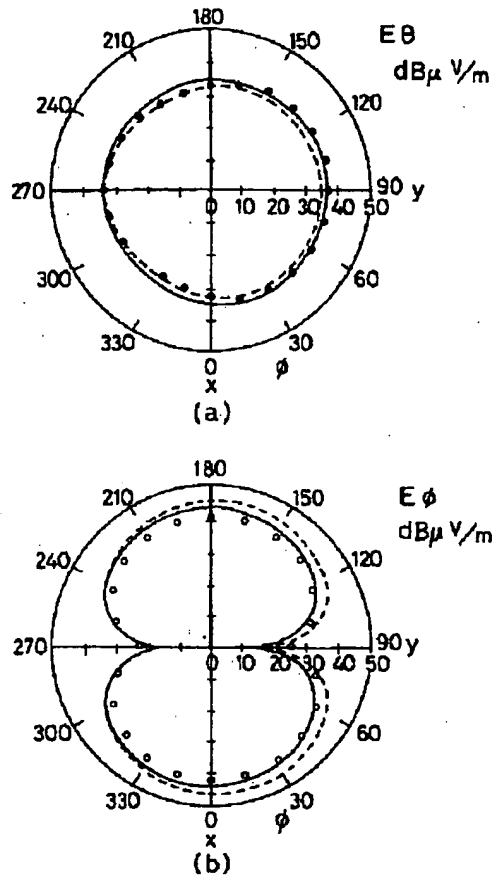
【図15】

分布定数線路近似法の説明図



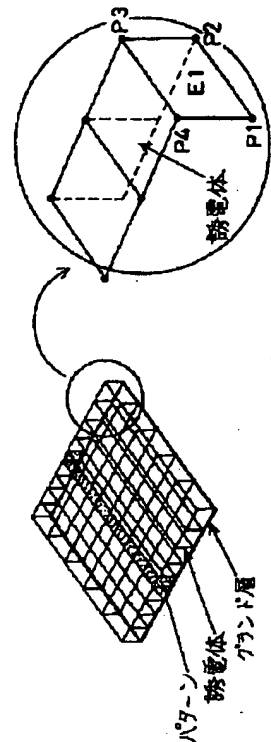
【図13】

シミュレーションの説明図



【図16】

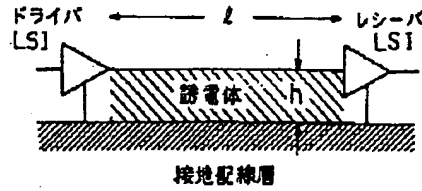
従来技術の説明図



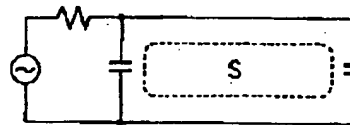
THIS PAGE BLANK (USPTO)

【図14】

微小ループアンテナ近似法の説明図



電 流



$$\text{電波放射量} \propto \text{周波数}^2 \times \text{電流} \times \text{ループ面積} \quad (\text{一様})$$

フロントページの続き

(72)発明者 西野 関司
 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
 富士通株式会社内

THIS PAGE BLANK (USPTO)